

БАЗОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ ФОТОННЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОГНУТЫХ КАНАЛЬНЫХ ВОЛНОВОДОВ НА ПОДЛОЖКЕ ИЗ InP

А. А. Козлов, У. О. Салгаева, А. Б. Волынцев

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Пермь, Букирева, 15

Фотонная интегральная схема (ФИС) – многокомпонентное фотонное устройство, изготовленное на плоской подложке и выполняющее функции обработки оптических сигналов. Использование ФИС позволяет изготавливать более компактные и с более высокой производительностью оптические системы (по сравнению с системами на основе дискретных оптических компонентов), а также предоставляет возможность их интеграции с электронными схемами для увеличения функциональности конечного прибора [1].

Базовым элементом ФИС являются каналные волноводы. Они не только связывают элементы ФИС в одну сложную систему, но и являются основой для создания большинства компонентов фотонных интегральных схем, таких как многомодовые интерференционные делители, решетки на основе массива волноводов и др.

Среди всех материалов интегральной оптики – Si, SiO_x, LiNbO₃, SiN_x, GaAs и др. – особое место занимает фосфид индия (InP), который является наиболее перспективным материалом для создания ФИС, так как обладает наилучшим сочетанием оптико-электрических и функциональных свойств, а также позволяет реализовать ФИС целиком на одном кристалле [2].

Поэтому целью данного исследования является моделирование каналных волноводов и распределения оптического излучения в них для создания ФИС на подложке из InP.

Для моделирования каналных волноводов на подложке из InP и изучения распределения оптического излучения в них был использован САПР для численного моделирования фотонных интегральных схем. Объектом исследования стали типовые волноводы, которые применяются при изготовлении компонентов реальных ФИС. Схема изучаемого волновода приведена на рис. 1.

Волновод состоит из InP, легированного n- и p-примесями (подложка и оболочка соответственно). Материал сердцевины волновода – четвертной твердый раствор In_xAs_{1-x}Ga_yP_{1-y}.

В ходе исследования были рассмотрены три глубины травления волновода: 1,35 мкм, и 1,50 мкм 2,00 мкм, отвечающие различным базовым компонентам ФИС и лежащие в основе волноводов глубокого и неглубокого травления.

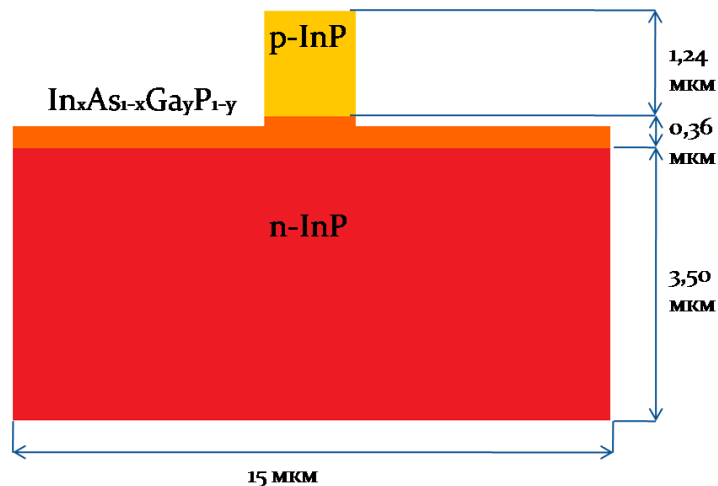


Рис. 1. Схема изучаемого волновода (глубина травления 1,35 мкм)

В ходе моделирования получено распределение оптического излучения в прямом волноводе для исследуемых глубин травления. Результаты приведены на рис. 2.

По полученным данным можно сделать вывод, что увеличение глубины травления увеличивает степень ограничения оптической моды в пределах волновода.

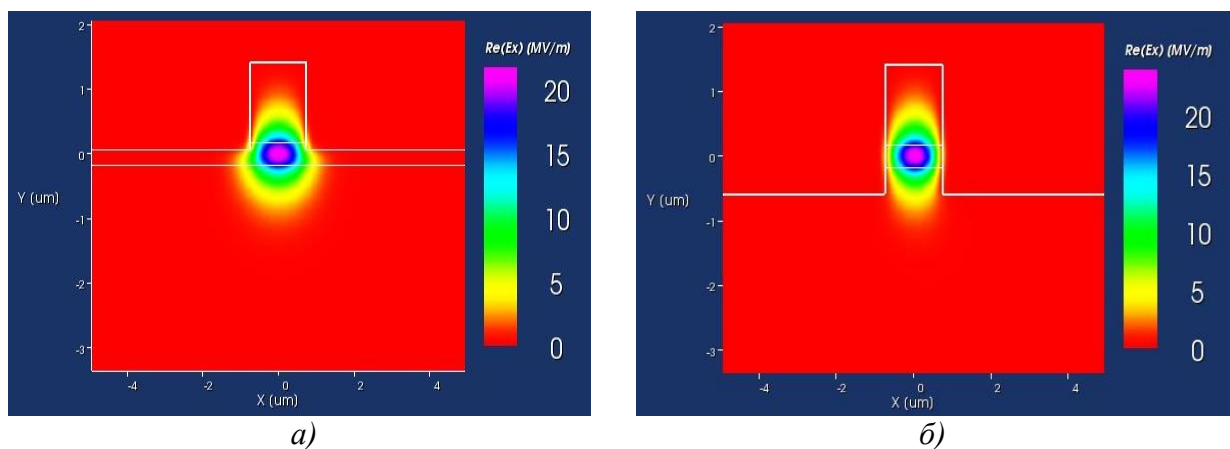


Рис. 2. Распределение оптического излучения ($Re(E_x)$) в прямом волноводе для глубины травления: а) 1,35 мкм, б) 2,00 мкм

Также подробно было изучено поведение оптического излучения в изогнутом волноводе для глубины травления 1,35 мкм при вариации радиуса изгиба R от 150 до 50 мкм с шагом уменьшения радиуса изгиба $\Delta R = 20$ мкм. Из представленных на рис. 3 результатов наглядно видно, что при некотором критическом радиусе изгиба волновода оптическое излучение, распространяющееся по волноводу, начинает высвечиваться в подложку (радиационные моды), что влечет за собой существенное увеличение оптических потерь. Такое поведение оптического излучения на изгибах волноводов с радиусами, меньше чем критические, влияет на

корректную работу всей оптической схемы, поэтому должно обязательно учитываться при проектировании ФИС.

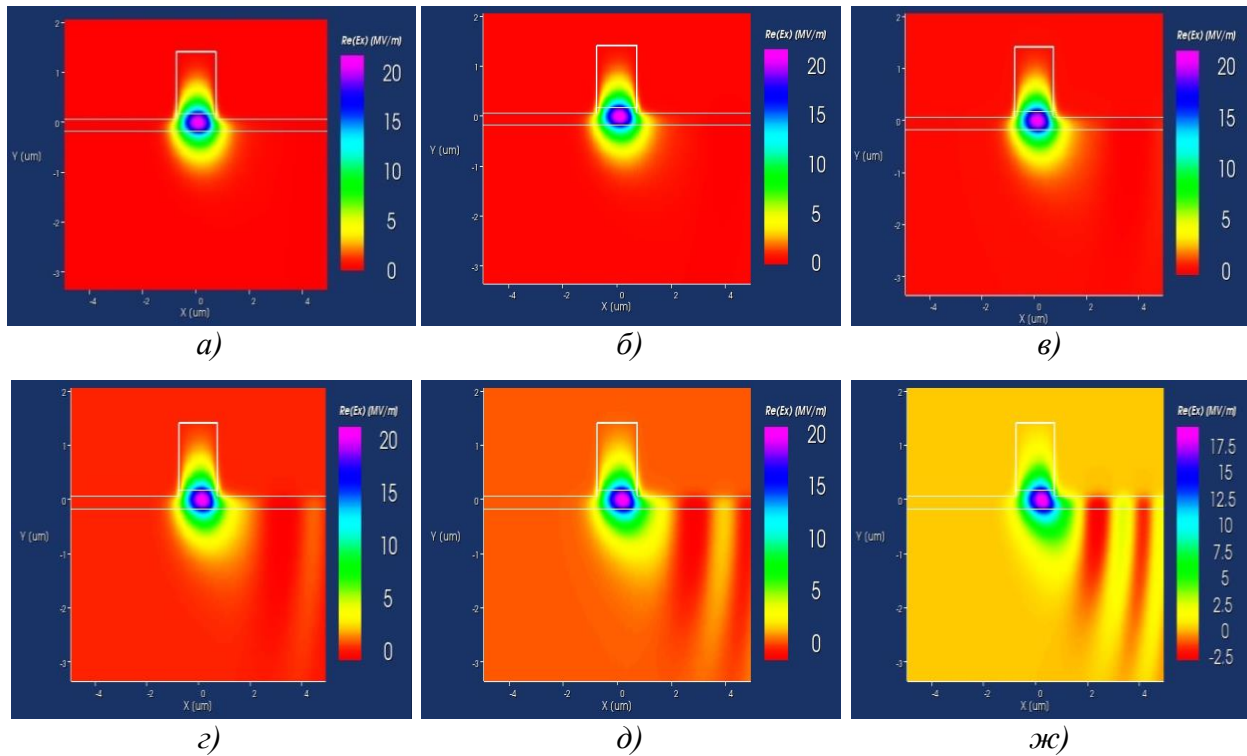


Рис. 3. Распределение оптического излучения ($Re(E_x)$) в изогнутом волноводе для глубины травления 1,35 мкм и радиуса изгиба:
 а) 150 мкм, б) 130 мкм, в) 110 мкм, г) 90 мкм, д) 70 мкм, е) 50 мкм

Также в ходе работы выявлено влияние глубины травления на оптические потери при маленьких радиусах изгиба. При $R = 50$ мкм для глубины травления 1,35 мкм потери составили 5,27 дБ/90°, а при глубине травления 2,00 мкм – 0,08 дБ/90°. Сравнение оптических потерь при $R = 50$ мкм представлено на рис. 4.

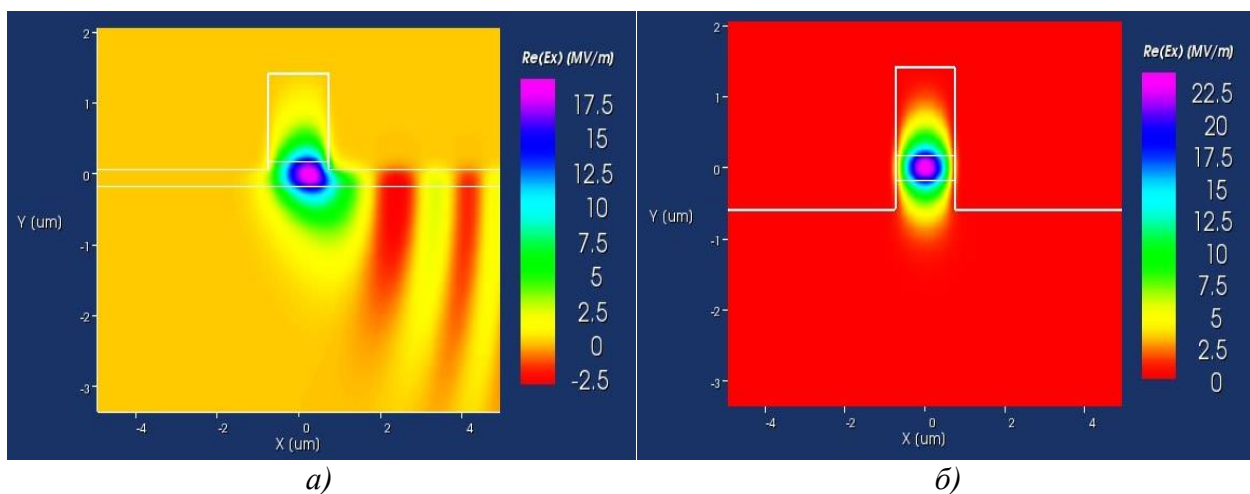


Рис. 4. Распределение оптического излучения в волноводе при $R = 50$ мкм и глубине травления а) 1,35 мкм, б) 2,00 мкм

По итогам работы был построен график зависимости оптических потерь на изгибе от радиуса кривизны волновода для трех различных глубин травления (Рисунок 5).

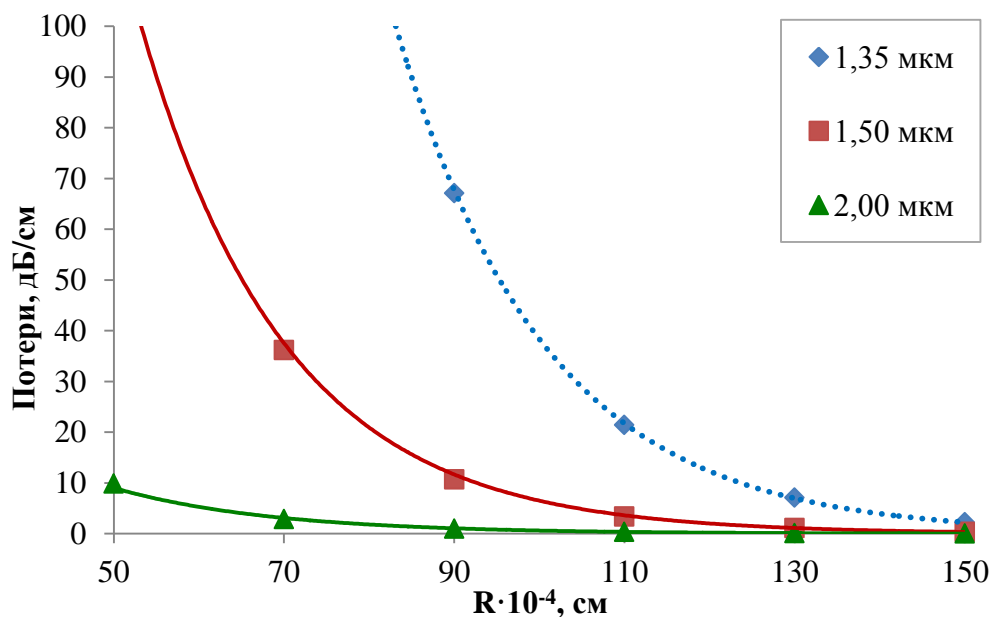


Рис. 5. Зависимость потерь на изгибе от радиуса кривизны волновода для различных глубин травления

Считая приемлемыми для функционирования ФИС потери в 1 дБ/см, из графика можно получить примерные значения критических радиусов изгиба для каждой глубины травления, которые могут быть использованы при создании компонентов ФИС. Полученные критические радиусы должны обязательно учитываться при проектировании ФИС. Кроме того, для корректной работы ФИС в ходе проектирования может быть использована комбинация волноводов с различной глубиной травления.

Данная работа выполнена в рамках проекта 02.G25.31.0113 «Разработка базовой технологии и создание производства фотонных интегральных схем для приборов, систем и комплексов оптоэлектронного навигационного приборостроения», реализуемого ОАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания» совместно с ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет».

Список литературы

1. Разумовский А. С., Наний О. Е. Словарь нанотехнологичных терминов. М.: Физматлит, 2010. С. 481.
2. Талызин В. П., Нашельский А. Я. Фосфид индия – получение и свойства // Успехи химии. 1986. Т. 55. С. 1083 – 1095.